

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift

⑩ DE 43 14 742 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:  
G 01 V 3/165  
G 01 V 3/16  
G 01 S 5/12  
G 01 C 11/00  
G 01 M 3/04

②1 Aktenzeichen: P 43 14 742.9  
②2 Anmeldetag: 4. 5. 93  
④3 Offenlegungstag: 17. 11. 94

DE 43 14 742 A 1

⑦1 Anmelder:

Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, 85521  
Ottobrunn, DE

⑦4 Vertreter:

Bolte, E., Dipl.-Ing.; Möller, F., Dipl.-Ing., 28209  
Bremen; Popp, E.,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol.; Sajda, W.,  
Dipl.-Phys.; Bohnenberger, J., Dipl.-Ing. Dr. phil. nat.;  
Reinländer, C., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte,  
80538 München

⑦2 Erfinder:

Pfisterer, Erich, 8000 München, DE

BEST AVAILABLE COPY

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Anordnung zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft. Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, ein spezielles kombiniertes Sensorsystem in einen Drehflügler, z. B. einen Hubschrauber zu installieren. Hierbei wird der besondere Vorteil des Hubschraubers genutzt, in geringsten Flughöhen und bei niedrigen Geschwindigkeiten auch kleine Areale mäanderförmig in dicht nebeneinanderliegenden Flugbahnen befliegen zu können. Das Sensorsystem umfaßt dabei eine Kombination von nichtbildgebenden und bildgebenden Sensoren sowie ein Flugführungssystem, welches mit einer differentiellen Positionsbestimmung zusammenwirkt, wodurch die tatsächliche Lage des Drehflüglers hochgenau bestimmt werden kann. Hierdurch wird es möglich, nichtbildgebende Sensoren z. B. zur magnetischen Erkundung eines zu überfliegenden Areals oder sogenannte Längswellen-VLF-Sensoren einzusetzen. Im Boden befindliche ferromagnetische Körper oder andere Einflüsse, die zu einer Leitfähigkeitsveränderung des Bodens führen, können sicher erfaßt und in ihrer tatsächlichen Position genau bestimmt werden.

DE 43 14 742 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft.

Die Gewinnung von Fernerkundungsdaten aus der Luft ist seit längerer Zeit bekannter Stand der Technik. So werden beispielsweise zur exakten Vermessung und zur Erstellung von Karten und Geländemodellen photogrammetrische Einrichtungen, z. B. Kameras verwendet.

Ebenfalls wurde bereits vorgeschlagen, durch den Einsatz passender Sensorik für den infraroten Bereich, eine Überwachung und Sondierung von Mülldeponien oder anderen Umweltlasten durchzuführen.

In dem deutschen Patent DD 2 96 154 AS wird eine Anordnung zur Fernerkundungsdatengewinnung beschrieben, die auf einem Trägerflugzeug montiert ist. Mit dieser Anordnung sollen die Unterschiede der radiometrischen, spektralen und geometrischen Merkmale der von verschiedenen Nutzern von Fernerkundungsdaten zu untersuchenden Objekte berücksichtigt werden und die Aufnahme von Daten in unterschiedlichen Empfindlichkeitsstufen, in unterschiedlichen Spektralkanälen sowie ggfs. in hoher geometrischer Auflösung mit einer einheitlichen prozessorunterstützten Aufnahmeapparatur ermöglicht werden. Es soll also eine thematische Auswahl und Vorverarbeitung der von mehreren Systemkomponenten angebotenen Datenströme erfolgen, um dadurch eine Reduzierung des zu speichernden bzw. zu übertragenden Datenvolumens zu erreichen.

Die Aufnahmeanordnung weist hierfür einen panchromatischen Modul, einen multispektralen Modul, welcher im sichtbaren und nahen Infrarotbereich des Spektrums empfindlich ist, einen Modul mit einer Empfindlichkeit im kurzwelligen Infrarot und einen weiteren Modul für das thermische Infrarot auf.

Zur Lösung unterschiedlicher Fernerkundungs-Aufgabenstellungen erfolgt eine Korrelation von einzeln selektierten Moduldaten. Beispielsweise wird zur Feststellung von Forstschädlingen in einem Waldgebiet die Grauwertverteilung im panchromatischen Bild mit einer Abbildung der Temperaturverteilung in Beziehung gesetzt. Ergänzend werden Multispektraldaten des VNIR-Moduls, welcher im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich selektiv ist, zur Bestimmung der Vitalität des Waldes herangezogen.

Mit der vorstehend beschriebenen Anordnung ist es zwar möglich, größere Geländeareale nach verschiedenen Gesichtspunkten zu sondieren und aufgabenspezifische Fernerkundungsdaten zu erhalten. Die konkrete, ortsgenaue Ermittlung von z. B. Umweltlasten auch geringeren Ausmaßes ist nicht möglich. Dies liegt zum einen an dem verwendeten Trägerflugzeug und zum anderen am ausschließlichen Einsatz von bildgebenden Sensoren.

Eine Weiterentwicklung der vorstehend geschilderten Fernerkundungsanordnung ist in den Patentschriften DD 2 96 155 und 296 170 offenbart.

Hier wird von dem Grundgedanken ausgegangen, unterschiedliche Aufnahmebedingungen und Szenencharakteristika zu erkennen und auf der Basis dieses Erkenntnisgewinns an sich bekannte Einzelsensoren adaptiv zu steuern, ohne eine inhaltliche Einschränkung der maximalen Nutzerinformation vornehmen zu müssen. Dies geschieht mit einem sogenannten Vorfeldsensor, der in der Lage ist, den Übergang von einer Objektklasse (Vegetation) zu einer anderen (Gewässer) während

der Aufnahme aufgrund des unterschiedlichen Remissionsgrades zu erkennen, um dann ein automatisches Umschalten des Empfindlichkeitsbereiches des Hauptsensorsystems vorzunehmen. Hierdurch wird zwar die zur Verfügung stehende Sensorik selbständig auf die Umgebungsbedingungen angepaßt, ohne daß Datenverluste eintreten, jedoch wird wiederum ausschließlich bildgebende Sensortechnik verwendet. Da die Auflösung des Vorfeldsensors begrenzt ist, ist es außerdem nicht möglich — wie zur Erkennung kleinerer Objekte aber erforderlich, das Hauptsensorsystem bezogen auf derartige Objekte zu steuern.

Zur geophysikalischen Erkundung von leitfähigen Körpern, z. B. unterirdischen Wasserläufen oder Mineralien, ist es beispielsweise aus der US-PS 3,950,695 bekannt, elektromagnetische Veränderungen durch geeignete Magnetfeld- und/oder Längstwellensensoren zu erfassen. Wenn eine derartige Erkundung luftgestützt erfolgt, muß die Sensoranordnung möglichst dicht über dem Boden geführt und räumlich entfernt von dem feldverzerrenden Flugzeugkörper angeordnet sein. Des weiteren wirkt sich jede Lageveränderung des Flugzeuges erschwerend auf die eindeutige Erkennung und räumliche Zuordnung möglicher Objekte aus.

Um derartige Störungen zu minimieren, ist es beispielsweise aus der EP 0 087 271 B1 bekannt, ein geophysikalisches elektromagnetisches Vermessungssystem mit einem speziellen Sender auszurüsten, mit dem das zu vermessende Gelände einer zyklischen Stromwellenform aufeinanderfolgender sprunghaft abgeschlossener Magnetfelder aussetzbar ist. Dieser Sender wirkt dann mit einem hierauf abgestellten speziellen Empfänger derart zusammen, daß er nur auf durch das Gelände erzeugte Sekundärmagnetfelder reagiert, wodurch die Genauigkeit bei der Datengewinnung erhöht werden soll. Ungelöst ist auch hier, wie sich flugbahnbedingte Fehler, d. h. Abweichungen der realen von einer geplanten Flugbahn, bei der nachträglichen Übertragung detektierter Objekte in entsprechendes kartographisches Material auswirken.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Anordnung zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft anzugeben, wobei auch kleinere Objekte, die unterhalb der Erdoberfläche befindlich sein können, mit möglichst einer einzigen Befliegung schnell und sicher erkannt und räumlich zugeordnet werden können.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 4, wobei die Unteransprüche vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen zeigen.

Erfindungsgemäß wird ein spezielles kombiniertes Sensorsystem in einen Drehflügler installiert. Hierbei wird der besondere Vorteil des Drehflüglers genutzt, der darin besteht, in geringen Flughöhen und ggfs. geringer Fluggeschwindigkeit auch kleinere Areale mäanderrförmig in dicht nebeneinanderliegenden Flugbahnen befliegen zu können.

Das erfindungsgemäße Sensorsystem besteht aus einer Kombination von nichtbildgebenden und bildgebenden Sensoren sowie einem Flugführungssystem, welches mit einer differentiellen Positionsbestimmung (DGPS) zusammenwirkt. Hierdurch kann der Drehflügler als Träger des Sensorsystems hinsichtlich seiner Lage mit einer Genauigkeitsabweichung im Meterbereich, z. B. von 3 bis 5 m bestimmt werden, wodurch sichergestellt ist, daß bei der Befliegung und Sondierung eines vorgegebenen Areals auch tatsächlich die gesamte Fläche erfaßt und auch kleinere Objekte erkannt werden

können.

Als nichtbildgebende Sensoren des Systems werden ein Längstwellendetektor zur Feststellung von Anomalien der Leitfähigkeit im Boden und/oder ein Magnetfelddetektor zur Bestimmung magnetischer Anomalien im Boden verwendet.

Mit dem Längstwellendetektor können z. B. Leitfähigkeitsänderungen im Boden erkannt werden.

Leitfähigkeitsunregelmäßigkeiten im Randbereich einer abgedeckten Mülldeponie lassen Rückschlüsse über deren Lage bzw. Ausmaße zu.

Mittels des Magnetfelddetektors ist die Bestimmung von ferromagnetischen Gegenständen, die im Boden verborgen sind, beispielsweise von Behältern und Fahrzeugen, möglich.

Kameras im visuellen Bereich sowie Detektoren für das thermische und nahe Infrarot (TIR und NIR) werden als ergänzende bildgebende Sensoren eingesetzt.

Mit Hilfe des TIR-Detektors können Temperaturunterschiede bei Umgebungstemperaturen bestimmt und damit Rückschlüsse auf veränderte Strukturen unter der Oberfläche aufgrund z. B. chemischer Reaktionen gezogen werden.

Mit dem NIR-Detektor kann der Feuchtegehalt der Vegetation und die Chlorophyllabsorption bestimmt und damit über den Gesundheitszustand der Vegetation indirekt auf Schadstoffe im Boden geschlußfolgert werden.

Wie bereits erörtert, wird zur exakten Lagebestimmung des Drehflüglers auf eine DGPS-Anordnung zurückgegriffen. Vorteilhafterweise wird die horizontale x-y-Position des Drehflüglers mit dem DGPS und die vertikale z-Position über Grund z. B. mit einem zusätzlichen Laserhöhenmesser bestimmt.

In einer Ausführungsform der Erfindung wird auch die DGPS-z-Position über Meereshöhe bestimmt und durch die Laserhöhenmesser-z-Position über Grund ergänzt, so daß wenn gewünscht ein Höhenprofil des überflogenen Areals gewonnen wird.

Damit ist die horizontale und vertikale Position in Dezimetergenauigkeit ermittelbar. Das tatsächliche Flugbild bzw. der Flugverlauf wird den bildgebenden und/oder nichtbildgebenden Sensordaten zugeordnet, so daß entweder an Bord oder bei der nachträglichen Datenaufbereitung erkannte Objekte oder Anomalien mit einer Genauigkeit bestimmt werden können, die weitere Erkundungsarbeiten am Boden weitgehend überflüssig machen.

Mit dem Sensorsystem und der dort implementierten zentralen Steuerung können des weiteren Flugwege, Meßstrecken und Datenerfassungspositionen rechnergestützt vorgeplant werden, d. h. die Flugplanung kann am Boden erfolgen und anschließend auf einem Datenträger gespeichert werden.

Diese Planungsdaten werden dann in Relation zur bestimmten aktuellen Position und zur Eigenbewegung des Drehflüglers in geeigneter Weise dem Piloten zur Flugführung dargestellt, so daß dieser in die Lage versetzt wird, den vorgeplanten Meßstrecken mit der für die Meßaufgabe erforderlichen Genauigkeit zu folgen.

Letztendlich läßt sich die aktuelle Position und Lage des Drehflüglers im Augenblick der Messung erfassen und für die Zuordnung zu den Meßdaten der jeweiligen Sensoren bereitstellen.

Erfindungsgemäß ist es erst durch die Kombination des Flugführungssystems mit der DGPS-Anordnung und der Längstwellenund/oder Magnetfelddetektoren möglich, die Lage und die Größe unter der Erdoberflä-

che befindlicher, relativ kleiner Objekte in hoher Genauigkeit zu ermitteln. Dies deshalb, da Abstandsveränderungen der vorgenannten Detektoren insbesondere bei einem magnetischen Signal mit der dritten Potenz auf die detektierten Signalwerte eingehen. Damit wird die tatsächliche Korrelation zwischen Objektgröße und dem empfangenen bzw. detektierten Signal gestört.

Mittels der hochgenauen dreidimensionalen Positionierung des Drehflüglers in Verbindung mit dem DGPS-System kann eine Sondierung und Untersuchung eines Areals durch einen im thermischen Infrarot (TIR) empfindlichen Detektor unter Nachtflugbedingungen durchgeführt werden.

Durch das Flugführungssystem in Verbindung mit der tatsächlichen Zeitbasis-bezogenen Lagebestimmung und den spezifischen Flugeigenschaften des Drehflüglers kann das mäanderförmige Befliegen des Untersuchungsareals mit einem äußerst engen Abstand der Mäanderbahnen erfolgen.

Die durchschnittliche Flughöhe des Drehflüglers beträgt im wesentlichen 40 bis 50 m, wobei der Magnetfeldsensor mittels einer Schleppleine wenige Meter über dem Boden geführt wird.

Es liegt im Sinne der Erfindung, die bodennahen Magnetfeld- und/oder Längstwellensensoren mit Chemosensoren zu kombinieren oder diese anstelle der Magnetfeld- und/oder Längstwellensensoren zu verwenden, so daß oberflächlich austretende Gase aufgrund von Kontamination des Bodens bestimmt werden können. Hierdurch kann nicht nur z. B. die unterirdische Lage einer Gas- oder Ölpipeline bestimmt, sondern auch eine eventuelle Leckage ermittelt werden.

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels sowie von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigt

Fig. 1 die Sensorsystemarchitektur und

Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung zur Erläuterung des DGPS-Systems.

Mit Hilfe der Fig. 1 soll die Sensorsystemarchitektur beschrieben werden, die im Drehflügler befindlich ist.

Bei einer Realisierungsform der Erfindung wurde als Trägermittel ein Hubschrauber mit Zentralrotor verwendet, wobei im Kabinenboden eine Aussparung zur Aufnahme der Objektiv 8 der bildgebenden Sensoren bzw. der Kamera 3 und ein Mechanismus zum Anbringen der Längstwellen- und Magnetfelddetektoren vorgesehen ist. Die übrigen Bestandteile des Sensorsystems, insbesondere die Steuer- und Regelelektronik sind in entsprechenden Racks innerhalb des Hubschraubers angeordnet und können autark oder über die Bordstromversorgung 16 des Hubschraubers betrieben werden.

Das erfindungsgemäße System 1 umfaßt beispielsweise bildgebende Sensoren 2 zur Sondierung im thermischen und nahen Infrarot und/oder einen Multispektral-Scanner. Zur Vereinfachung einer nachträglichen Kartierung und zur Vermessung ist des weiteren eine Kamera 3, z. B. eine Reihenmeßkamera, vorgesehen.

Ein Magnetik- und ein Längstwellen(VLF)-Ausrüstungsrack 5 stellen die bodennahe Sensorik 6 dar. Die Sensoren 4 für das Ausrüstungsrack befinden sich bezogen auf den Hubschrauber außenbords.

Die bildgebenden sowie die bodennahen, nichtbildgebenden Sensoren 2, 6 stehen mit einer zentralen Steuerung und einem Speicher 7 in Verbindung. Über die zentrale Steuerung 7 ist ein externes Triggern der bildgebenden Sensoren 2 möglich. Der Speicher der zentralen Steuerung 7 ist beispielsweise in Form einer mehr-

spurigen Meß- und Positionsdatenaufzeichnungsvorrichtung ausgebildet.

Eine GPS-Antenne 12 steht mit einem GPS-Empfänger 13 in Verbindung, welcher die Basis-GPS-Daten der zentralen Steuerung 7 und dem Flugführungssystem 9 bereitstellt. Vorteilhafterweise greift das Flugführungssystem 9 zusätzlich auf Daten zurück, die von einer Kreiselplattform 14 bereitgestellt werden. Ergänzend werden Daten aus einem barometrischen Höhenmesser 15 oder einem Laserhöhenmesser 18 und dem Laser-Sensor 17 bereitgestellt.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ermöglicht die zentrale Steuerung 7 unter Berücksichtigung der Daten aus dem Flugführungssystem 9 und einem DGPS-Telemetrieblock, bestehend aus DGPS-Antenne 10 und DGPS-Empfänger 11, eine an Bord vorgenommene Echtzeitkorrektur der tatsächlichen Lage des Hubschraubers über Grund. Ansonsten erfolgt über eine gemeinsame Zeitbasis eine Aufzeichnung der einzelnen Sensordaten, wobei die zeitbezogenen Sensordaten und die zeitbezogenen DGPS-Daten zu einer Post-Flight-Korrelation der Meß- und Positionsdaten verwendet werden.

Für die Post-Flight-Korrelation ist es zweckmäßig, Positionsdaten am Ort der Sensoren 4 durch eine dort ebenfalls befindliche weitere GPS-Antenne (nicht gezeigt) zu erfassen und diese Positionsdaten unter Nutzung von Korrekturdaten einer nachträglichen Bearbeitung zur ortsgenauen Meßdatenzuordnung zu unterziehen. Hierdurch kann eine weitere Erhöhung der Sondiergenauigkeit bis hin zum Dezimeterbereich erfolgen.

Die Befliegung des zu untersuchenden Areals oder Geländeabschnittes erfolgt unter Ausnutzung der Flugeigenschaften des Hubschraubers mäanderförmig, jeweils in entgegengesetzter Richtung, wobei zur Erhöhung der Genauigkeit der Oberflächensondierung das bereits überflogene Areal 90° versetzt nochmals mäanderförmig überflogen werden kann. Die Abstände der 90°-versetzten mäanderförmigen Flugbahnen sind dabei in einem im wesentlichen einheitlichen Raster gewählt. Hierdurch wird sichergestellt, daß das zu untersuchende Areal tatsächlich vollständig erfaßt wird, damit auch bei der Untersuchung mittels nichtbildgebenden Sensoren, wo im Gegensatz zur herkömmlichen Photogrammetrie keine optische Kontrolle der Vollständigkeit möglich ist, eine ausreichende Sondiergenauigkeit erreicht wird.

Für die Magnetfeldsondierung werden Abstände zwischen den mäanderförmigen Fluglinien von im wesentlichen 20 m gewählt. Die Flugplanung bei ausschließlicher Sondierung im NIR- oder TIR-Bereich geht auflösungsabhängig von Abständen im Bereich von 30 m bis 1000 m aus. Für eine Sondierung im visuellen Bereich mittels der Kamera 3 beträgt der Abstand maßstababhängig zwischen den Fluglinien im wesentlichen über 1000 m.

Durch die mittels des Drehflüglers realisierbaren geringen Dauerflughöhen z. B. im Bereich zwischen 40 und 50 m und Höhe der Sensoren 4 wenig über Grund, z. B. im wesentlichen 5 m, kann die VLF- und Magnetfeldsensorik 4, 5, 6 nicht nur punktuell, sondern wie erwähnt für zusammenhängende Areale eingesetzt werden.

Es sei noch angemerkt, daß der VLF-Sensor die Längstwellenenergie vorhandener Sender nutzt und den Amplitudenverlauf über die Flugbahn erfaßt. Störeinflüsse, z. B. aufgrund einer Leitfähigkeitsänderung des Bodens, zeigen sich dann als leicht auswertbarer

Amplitudenpeak. Die örtliche Zuordnung des erfaßten Amplitudenpeaks erfolgt dann durch die gemeinsame Zeitbasis zwischen den aufgezeichneten Sensorwerten und den dreidimensionalen DGPS-Signalen in der zentralen Steuerung 7.

Beim Magnetsensor wird ebenfalls ortsbezogen die Störung des Erdmagnetfeldes durch im Boden befindliche ferromagnetische Körper erfaßt.

Es sei noch erwähnt, daß insbesondere der Magnetsensor in einem mit dem Hubschrauber über eine Seilverbindung befindlichen Flugkörper (Meß-Sonde 4) angeordnet ist, dessen Höhe im wesentlichen 5 bis 10 m über Grund beträgt. Durch diese geringe Höhe des abgesetzten außenbords befindlichen Magnetsensors wird der erwähnten Tatsache Rechnung getragen, daß sich die Empfindlichkeit bezogen auf Störfelder mit der dritten Potenz des Abstandes verringert.

Der Lasersensor 17 wirkt mit dem Laserhöhenmesser 18 zur wesentlich exakteren Höhenbestimmung bezogen auf den barometrischen Höhenmesser 15 zusammen. Die Höhen- bzw. z-Daten des Laserhöhenmessers 18 gelangen auf die zentrale Steuerung 7 und werden dort aufgezeichnet. Gleichzeitig wird die exakte Höhenposition dem Flugführungssystem 9 zur Verfügung gestellt.

Eine feste GPS-Referenzstation 19 überträgt ein DGPS-Signal mittels eines DGPS-Senders 20 zur DGPS-Antenne 10 des Anboardsystems. Die GPS-Referenzstation 19 und der DGPS-Sender 20 sind am Boden stationiert.

Mit der Fig. 2 soll das Prinzip der differentiellen, hochgenauen Positionsbestimmung (DGPS) eines Hubschraubers 21 erläutert werden.

Eine zur Fig. 1 bereits erläuterte GPS-Referenzstation 19 wirkt mit einem DGPS-Sender 20 zusammen. Die GPS-Referenzstation 19 ist in der Nähe des zu untersuchenden Areals an einem definierten exakt vermessenen Ort fest positioniert. Die GPS-Referenzstation 19 empfängt ein Signal von vier oder mehr Satelliten 22. Diese Signale der Satelliten 22 werden auch von der GPS-Antenne 12 im Hubschrauber 21 empfangen und dem GPS-Empfänger 13 zugeführt. Der DGPS-Sender 20 sendet ein Korrektursignal, welches von der DGPS-Antenne 10 im Hubschrauber 21 empfangen und zum DGPS-Empfänger 11 weitergeleitet wird. Die Positionsbestimmung des Hubschraubers 21 kann dadurch verbessert werden, daß an dem Referenzpunkt, wo sich die GPS-Referenzstation 19 und der DGPS-Sender 20 befinden, ebenfalls Positionsmessungen durchgeführt werden, wobei die gewonnenen Daten zum Eliminieren von Systemfehlern herangezogen werden.

Dadurch, daß die GPS-Referenzstation 19 an einem vorgegebenen festen, bekannten Standort befindlich ist, können bezogen auf sich verändernde von den Satelliten 22 stammenden GPS-Daten Rückschlüsse auf einen Korrekturwert gezogen werden, wobei die erhaltenen Korrekturwerte, die eine vermeintliche Lageänderung darstellen, zum DGPS-Empfänger 11 des Hubschraubers 21 übertragen werden. In der zentralen Steuerung 7 erfolgt dann auf der Basis der Korrekturwerte unter Berücksichtigung der im GPS-Empfänger 13 bestimmten GPS-Daten eine Korrektur dieser Werte, welche dann zum Flugführungssystem 9 gelangen.

Demzufolge erfolgt eine Korrektur der Flugbahn nur aufgrund tatsächlicher Abweichungen von der vorgegebenen geplanten Flugbahn und nicht aufgrund vermeintlicher Lageabweichungen, die durch die Fehler des Satelliten-GPS-Systems bedingt sind.

Erst hierdurch kann eine Positionsbestimmung durch

zeitbezogene Aufzeichnung oder Echtzeitkorrektur des Drehflüglers bzw. des Hubschraubers 21 in der Größenordnung erfolgen, die zur exakten Erfassung von z. B. kleineren Gebäuderesten, Rohrleitungen oder im Erdboden befindlichen Tanks im Sinne einer Altlastensondierung notwendig ist.

Mittels der Erfindung können also die hohen Genauigkeitsanforderungen bei tiefen Meßflügen zur Altlastensondierung erfüllt werden. Dies gelingt durch die Nutzung eines differentiellen GPS-Systems, wobei die empfangenen GPS-Positionsdaten mit denen einer fest am Boden positionierten und exakt vermessenen GPS-Empfangsstation über Telemetrie verglichen werden. Hierdurch sind Genauigkeiten der Positionsbestimmung im Dezimeterbereich erzielbar. Zusätzlich wird eine vollständige Fluglageinformation dadurch gewonnen, daß ergänzend eine Drei-Achsenkreiselplattform vorgesehen ist, so daß auch die aktuelle Nick- und Rollage für die zentrale Steuerung verfügbar ist. Außerdem kann die fluglagebedingte unterschiedliche Position der GPS-Antenne des Drehflüglers relativ zu den Meßsonden, d. h. die sogenannte Antennenexzentrizität, ausgeglichen werden.

Wie dargelegt, wird die Höheninformation je nach Aufgabenstellung über einen barometrischen Höhenmesser oder einen Laserhöhenmesser bereitgestellt.

Eine hochpräzise Steuerung des Hubschraubers wird dadurch erreicht, daß die vollständigen Informationen über Nick- und Rollage, Höhe und die horizontale Situation integriert graphisch dargestellt und vorteilhafterweise vor dem Hintergrund der realen Außenansicht mittels einer halbdurchlässigen Scheibe, eines sogenannten Headup-Displays, sichtbar gemacht werden.

Zusammenfassend wird mit der Erfindung eine Altlastensondierung und Umweltüberwachung durch ein spezielles Sensorsystem dergestalt möglich, daß in Verbindung mit einer hochgenauen Bestimmung der tatsächlichen Lage eines die Sensoreinrichtung tragenden Drehflüglers bzw. Hubschraubers auch unterhalb der Erdoberfläche befindliche Objekte erkannt werden können. Hierdurch sind nicht nur großflächige Schäden der Vegetation durch bildgebende Sensoren erfassbar, sondern es können einzelne im Boden befindliche Gegenstände, die zu Leitfähigkeitsänderungen oder Störmagnetfeldern führen, erfaßt werden. Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der zugehörigen Anordnung können die Kosten der Altlastenerkennung erheblich gesenkt werden. Aufwendige bodengestützte Nachuntersuchungen sind bedingt durch das Auflösungsvermögen und die hohe Sicherheit bei der vollständigen Erfassung des zu untersuchenden Areals nicht mehr notwendig.

Vorteilhafterweise werden nichtbildgebende Sensoren wie z. B. ein Magnetfeld und/oder ein Längstwellensensor mit einem differentiellen GPS-System zur exakten Positionsbestimmung verbunden. Die hochgenaue Positionsbestimmung wird mit einem an Bord befindlichen Flugführungssystem gekoppelt, so daß vorgegebene, geplante Flugbahnen eingehalten werden können.

Das Sensorsystem kann des weiteren herkömmliche bildaufnehmende Sensoren, z. B. panchromatische Kameras, und Sensoren für das nahe und thermische Infrarot oder auch multispektrale Scanner aufweisen. Die hochgenaue Positionserkennung und Flugführung ist auch dann von Vorteil, wenn eine Untersuchung im thermischen Infrarot erfolgt, wobei sichergestellt ist, daß das zu untersuchende Areal vollständig erfaßt wird bzw. wenn meßtechnisch bedingt Nachts und/oder in

geringer Höhe befliegen werden muß.

Im Sinne der Erfindung können die vorerwähnten Sensoren thematisch und aufgabenspezifisch, d. h. je nach Sondierungsaufgabe aktiviert und die erhaltenen Sensordaten korreliert werden. Durch die optimale Flugführung mittels des DGPS-Systems vereinfacht sich in jedem Falle die Auswertung der erhaltenen Sensordaten, da eine aufwendige Umrechnung und Korrektur der Einzelwerte zu den geometrischen Positionen nicht mehr notwendig ist. Letztendlich ist es bedingt durch die Funktionsweise der Längstwellen- und Magnetsensoren erst mit der Erfindung möglich festzustellen, ob gewonnene Sensordaten im Sinne von Amplitudenpeaks oder erfaßten Erdmagnetfeldstörungen tatsächlich auf ein Objekt zurückzuführen oder nur durch eine Relativbewegung bzw. unerwünschte Lageänderung der Sensoren bzw. des Drehflüglers bedingt sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft, **gekennzeichnet durch eine satellitengestützte differentielle Flugpositions- bzw. Fluglagebestimmung eines mit einem Sensorsystems ausgerüsteten Drehflüglers**, wobei der Drehflügler auf geplanten und damit vorgegebenen, eng benachbarten Flugbahnen in geringer Höhe ein zu sondierendes Areal überfliegt und mittels des Sensorsystems mindestens Störungen des Erdmagnetfeldes aufgrund ferromagnetischer im Boden des zu sondierenden Areals befindlicher Körper und/oder von Inhomogenitäten im Boden des zu sondierenden Areals erfaßt und diese Störungen unter Nutzung der jeweiligen tatsächlichen Flugbahn bzw. Position des Drehflüglers durch zeitsynchronisierte Aufzeichnung der Positions- und Sensor-Meßdaten lokalisiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die geplanten, vorgegebenen eng benachbarten Flugbahnen einen mäanderförmigen Verlauf haben.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßdaten des Sensorsystems und die bestimmten tatsächlichen Flugbahnen bzw. Positionen zeitsynchronisiert aufgezeichnet bzw. gespeichert werden.
4. Anordnung zur hochgenauen Datengewinnung aus der Luft, gekennzeichnet durch ein Sensorsystem mit mindestens nichtbildgebenden Sensoren (4, 5, 6) zur Feststellung von Anomalien der Leitfähigkeit und/oder Störungen des Erdmagnetfeldes im zu sondierenden Areal bzw. Boden sowie ein Flugführungssystem (9), welches mit einer differentiellen Positionsbestimmungseinrichtung (7, 10, 11, 12, 13, 19, 20) zusammenwirkt, wobei das Sensor- und Flugführungssystem (4, 5, 6; 9) in einem Drehflügler (21) befindlich sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsystem mindestens einen Magnetfeld- und einen Längstwellendetektor aufweist, wobei die Detektoren in einer vom Drehflügler (21) abgesetzten Meßsonde (4) befindlich sind.
6. Anordnung nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsystem bildgebende Sensoren zur Sondierung im visuellen Bereich, im thermischen und nahen Infrarot und einen Multispektral-Scanner aufweist.
7. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß das Flugführungssystem (9) sowie das Sensorsystem mit einer zentralen Steuerung (7) zur Vorgabe von geplanten Flugbahnen und Kontrolle dieser Flugbahnen zusammenwirkt.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zentrale Steuerung (7) einen Speicher zur zeitsynchronisierten Aufzeichnung der Positions- und Sensor-Meßdaten aufweist. 5

9. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die differentielle Positionsbestimmungseinrichtung (DGPS) an einem festen Ort mit bekannten Koordinaten in der Nähe des zu sondierenden Areal eine GPS-Referenzstation (19) aufweist, welche mit einem DGPS-Sender (20) zur Übertragung von Positionskorrekturdaten zu einem DGPS-Empfänger (11) im Drehflügler (21) zusammenwirkt. 10 15

10. Anordnung nach Anspruch 4, 7, 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Flugführungssystem eine Kreiselplattform (14) und einen barometrischen Höhenmesser (15) und/oder einen Laserhöhenmesser (18) und eine visuelle Darstellungsmöglichkeit mit projizierter Soll- und Istlage des Drehflüglers (21) aufweist. 20

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

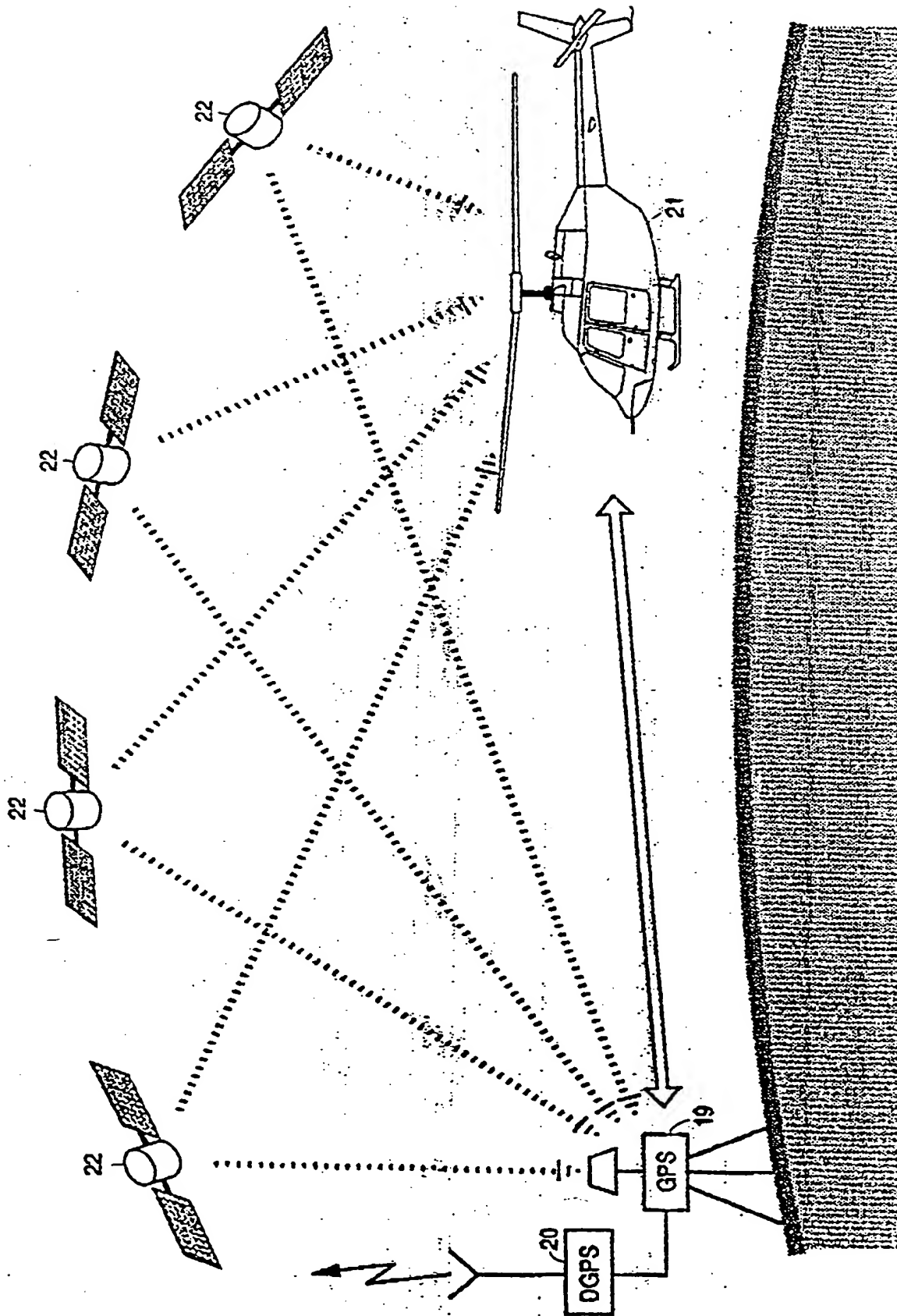
45

50

55

60

65



Figur 2



